

ANALISA BEBAN PADA RANGKA SEPEDA AIR

Muhamad Iqbal Achmad^{1*}, Mustari², Fachrun Nurhadi Wally³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Dayanu Ikhsanuddin

¹iqbal.iptek@gmail.com, ²mustariund2024@gmail.com, ³fachrunund2024@gmail.com,

*Penulis Koresponden

diajukan: 17 Agustus 2024,

diterima: 25 Agustus 2024.

Abstrak

Sepeda air mempunyai bentuk dan kesamaan fungsi seperti sepeda biasa yang ditemui didarat tapi keunikan serta titik perbedaan dari sepeda air ini adalah sepeda ini dapat digunakan diatas air tanpa tenggelam. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan diskritisasi pada struktur rangka sepeda, mengetahui reaksi yang bekerja di tumpuan dan untuk mengetahui aksi-aksi internal yang bekerja di tiap elemen batang pada rangka sepeda air. Struktur rangka sepeda diskritisasi menjadi 15 elemen batang dan 13 titik nodal dengan masing-masing titik nodal memiliki perpindahan dengan 3 derajat kebebasan yaitu perpindahan searah sumbu x dan y serta perpindahan sudut terhadap sumbu z. Reaksi di tumpuan 1 searah sumbu x dan y adalah 171,581 N dan 320,521 N dan momen searah sumbu z adalah 31,393 Nm. Reaksi di tumpuan B searah sumbu x dan y adalah -121,956 N dan 121,719 N dan momen searah sumbu z adalah 2,458 Nm. Aksi internal di tiap elemen batang terdiri gaya normal searah sumbu batang, gaya tangensial tegaklurus terhadap sumbu batang dan momen lentur yang berputar terhadap sumbu z. Beban-beban maksimum terdiri dari gaya normal maksimal terdapat di batang 27 sebesar 458,3527 N. Gaya tangensial maksimal terdapat di batang 78 sebesar 308,6009 N. Momen lentur maksimal terdapat di batang 78 sebesar 40,1181 Nm. Beban-beban kritis ini selanjutnya dapat digunakan untuk dasar perhitungan kekuatan rangka batang.

Kata kunci : Struktur rangka, tumpuan, aksi internal, massa pengendara

Abstract

Water bicycles have the same shape and function as ordinary bicycles found on land, but the uniqueness and point of difference of this water bicycle is that this bicycle can be used on water without sinking. This research aims to discretize the bicycle frame structure, determine the reactions acting on the supports and to determine the internal actions acting on each stem element in the water bicycle frame. The bicycle frame structure is discretized into 15 rod elements and 13 nodal points with each nodal point having a displacement with 3 degrees of freedom, namely displacement in the direction of the x and y axes and angular displacement about the z axis. The reaction at support 1 in the direction of the x and y axes is 171.581 N and 320.521 N and the moment in the direction of the z axis is 31.393 Nm. The reaction at support B in the direction of the x and y axes is -121.956 N and 121.719 N and the moment in the direction of the z axis is 2.458 Nm. The internal action in each member element consists of normal forces in the direction of the rod axis, tangential forces perpendicular to the rod axis and bending moments rotating about the z axis. The maximum loads consist of the maximum normal force found in bar 27 of 458.3527 N. The maximum tangential force found in bar 78 of 308.6009 N. The maximum bending moment found in bar 78 is 40.1181 Nm. These critical loads can then be used as a basis for calculating the strength of the truss.

Key words: Frame structure, support, internal action, rider mass

1. PENDAHULUAN

Kota Baubau merupakan bagian dari wilayah di Indonesia yang memiliki potensi alam yang dapat diandalkan. Salah satu contoh potensi alam yang dimiliki dan saat ini dikembangkan sebagai sarana tempat wisata yaitu Pantai Nirwana yang terletak di Desa Sula, Kecamatan Betoambari, Kota Baubau Sulawesi Tenggara.



Gambar 1. Pantai Nirwana

Sepeda air merupakan sarana transportasi air yang dapat digunakan untuk mendukung aktifitas wisata. Alasannya dikarenakan Sepeda air sangat cocok untuk kondisi masyarakat Indonesia yang senang akan sarana hiburan yang murah dalam segi biaya, simple dalam pengoperasian, dan juga cukup menyehatkan bagi pengendaranya. Sepeda air ini tidak menimbulkan polusi yang akan merusak lingkungan sekitarnya dengan kata lain ramah Lingkungan.

Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam perancangan sepeda air. Selain dari estetika dan ergonomi, faktor kekuatan komponen juga harus diperhatikan, terutama rangka sepeda air. Rangka sepeda merupakan komponen utama dan merupakan induk dari semua komponen yang terpasang pada sepeda air. Dalam pembuatan Sepeda air frame (rangka) merupakan komponen sepeda air yang berfungsi sebagai dudukan komponen dan harus mampu menerima berat pengendara.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan diskritisasi pada struktur rangka sepeda dan mengetahui reaksi yang bekerja di tumpuan serta mengetahui aksi-aksi internal yang bekerja di tiap elemen batang.

2. METODE

Lokasi dan Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium Proses Produksi Jurusan Teknik Mesin Universitas Dayanu Ikhsanuddin Baubau untuk Pengujian kemampuan terapung sepeda air tanpa pengendara dan kemampuan terapung sepeda air pada saat ada yang mengendarai dilakukan di pantai nirwana, pantai topa dan pantai kota mara. Sepeda air diuji dengan massa pengendara yang bervariasi dari 45kg sampai 120kg dan sepeda air masih mampu terapung dan stabil saat dikendarai, Menguji sistem kemudi berfungsi dengan baik saat berbelok (kiri-kanan), Menguji kemampuan baling-baling (*propeller*) berputar dengan maksimal, Menguji kecepatan sepeda air, untuk kecepatan sepeda air tergantung kekuatan ayunan pedal pengendara semakin cepat ayunan pedal semakin cepat pula putaran propeller, Satu ayunan pedal sepeda air menghasilkan 32 putaran baling-baling.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu rangka sepeda, besi hollow, besi nako, pipa pvc, dop pipa, lem pipa, besi plat, mur dan baut, poros as propeler, propeler, bearing, gier box dan tripleks.



Gambar 2. Pengujian sepeda air

Setelah pengujian alat sepeda air selanjutnya dilakukan beberapa tahap pengambilan data yang diperlukan meliputi: pengukuran rangka sepeda air dan pengukuran beban pengendara. Ada tiga titik utama pada pengukuran beban pengendara, yang merupakan titik tumpu pengendara pada sepeda air:

- 1) Batang kemudi dimana gaya yang diberikan oleh tangan pada batang kemudi kiri dan kanan dianggap sama atau simetri
- 2) *Saddle* yang merupakan titik tumpu badan pengendara
- 3) Pedal dimana gaya yang diberikan oleh kaki kiri dan kaki kanan dianggap sama atau simetri.



Gambar 3. ilustrasi pengambilan data beban pengendara

Pengukuran dilakukan dengan memperhatikan posisi atau perilaku dari pengendara yang wajar. Adapun perlengkapan yang digunakan dalam melakukan pengukuran adalah:

- 1) Satu set meja yang disusun sesuai dengan dimensi dari sepeda yang dianalisa (ketinggian batang kemudi, *saddle*, dan pedal)
- 2) Tiga unit timbangan badan
- 3) Mistar busur digunakan untuk mengukur sudut kemiringan lengan, punggung, dan kaki.
- 4) Meteran untuk mengukur tinggi badan pengendara



Gambar 4. Pengukuran berat pengendara

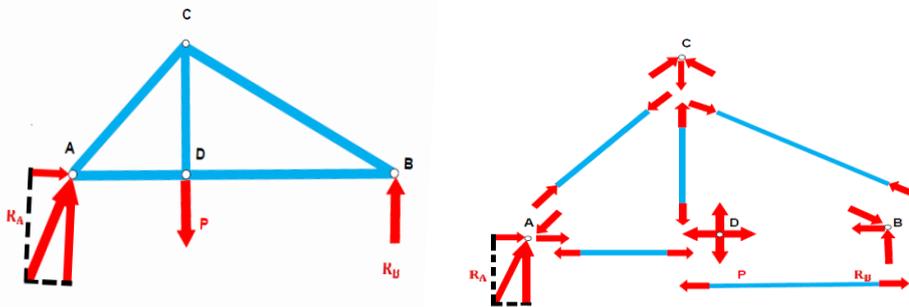
alat ukur yang digunakan untuk mengukur massa pada tiga titik pengamatan seperti yang telah disebutkan. alat ukur tersebut terdiri dari 3 timbangan badan. Timbangan badan digunakan untuk mengukur beban pengendara pada stang, beban pengendara pada sadel dan beban pengendara pada pedal pengendara sepeda air.

Metode Pengambilan Data

a. Analisa Beban-Beban Pada Kerangka Sepeda

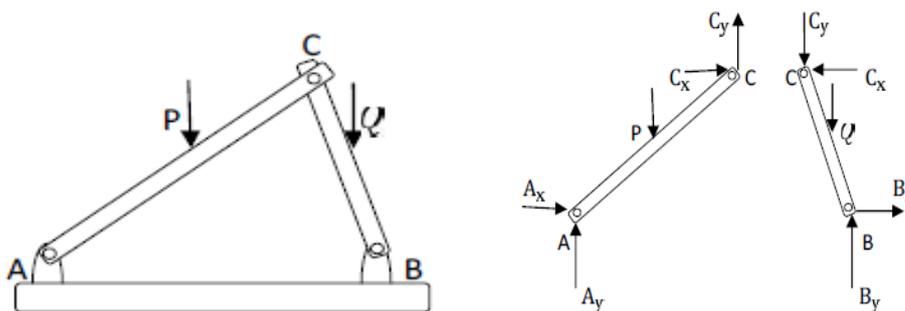
Kerangka sepeda merupakan gabungan dari beberapa batang yang disambungkan menggunakan las atau dalam mekanika teknik merupakan struktur dalam sambungan jepit. Berdasarkan jumlah gaya pada elemen batangnya dan fungsinya maka struktur batang dapat dikelompokkan atas tiga jenis yaitu sebagai berikut:

- 1) Rangka-batang (Trusses), yang dirancang untuk menumpu beban-beban dan biasanya berupa struktur yang dikekang penuh dan stasioner (tidak bergerak). Struktur Truss terdiri dari batang-batang (member) lurus yang dihubungkan dikedua ujungnya. Karena itu batang-batang pada struktur jenis ini merupakan batang dengan dua-gaya yaitu batang yang mengalami gaya yang besar sama dan berlawanan searah sumbu batangnya.



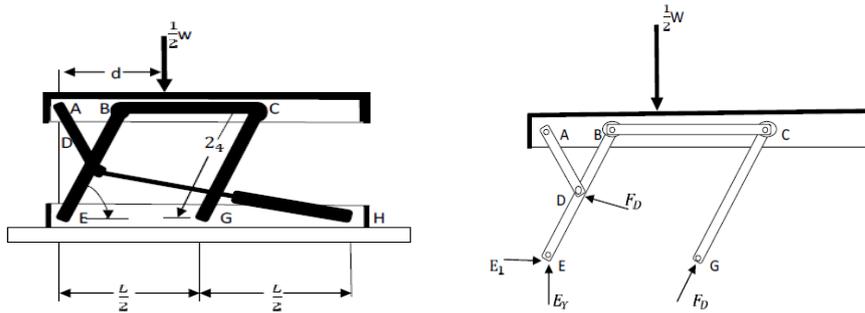
Gambar 5. a.Struktur truss b.element-elemen batang dengan dua gaya

- 2) Portal (Frames), yang dirancang untuk menumpu beban-beban dan biasanya berupa struktur yang dikekang penuh dan stasioner (tidak bergerak). Tetapi seperti halnya crane pada gambar 5 mengandung paling sedikit terdapat satu batang dengan banyak gaya (multi gaya) yaitu sebuah batang yang dibebani oleh tiga atau lebih gaya yang umumnya tidak searah dengan sumbu batangnya.



Gambar 6. a.Portal (frame) b.element-elemen batang dengan banyak gaya

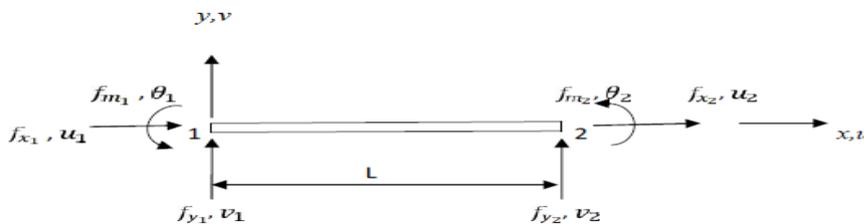
- 3) Mesin (Machine), yang dirancang untuk meneruskan (menyalurkan) dan mengubah gaya-gaya dan merupakan struktur yang mengandung bagian-bagian yang bergerak. Seperti halnya struktur frames, mesin mengandung paling sedikit satu batang dengan banyak gaya.



Gambar 7. a. Mesin pengangkat tenaga hidrolik b. Gaya-gaya pada elemen

Pada gambar (7) sebuah mesin pengangkat dengan tenaga hidrolik dimana gaya dari hidrolik diteruskan ke meja menghasilkan gerak mengangkat.

Rangka sepeda merupakan struktur portal karena pada sambungan jepit dari tiap elemen batangnya akan bekerja gaya aksial F_x , gaya tangensial F_y dan momen lentur F_{mz} (batang dengan multi beban) seperti yang ditunjukkan pada gambar 15.



Gambar 8. Elemen portal bidang pada sumbu lokal x-y

Untuk memudahkan perhitungan (agar lebih praktis) beban-beban pada struktur kerangka sepeda maka digunakan metode elemen hingga (MEH). Metode ini tidak membutuhkan konsep teori dasar yang baru dalam mekanika struktur. Konsep dasar metode ini adalah bahwa struktur kontinu dapat dimodelisasi secara diskritisasi menjadi struktur distrik. Struktur distrik terbentuk dari gabungan elemen yang perilakunya diharapkan mewakili struktur kontinu. Perilaku masing-masing elemen digambarkan dengan fungsi pendekatan yang mewakili peralihan dan tegangan yang akhirnya dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan matriks. Solusi numerik dari analisis struktur membutuhkan penyusunan sistem persamaan matriks yang terkadang sangat besar.

Pada struktur portal, tiap elemen mengalami beban aksial dan beban lentur. hubungan antara beban-beban yang terjadi ditiap sambungan (F_e), kekakuan elemen batang (K_e) dan perpindahannya (U_e) adalah:

$$K_e \cdot U_e = F_e$$

Jika $E \left(\frac{N}{m^2} \right)$ adalah modulus elastisitas bahan, $A(m^2)$ adalah luas penampang dan $L_e(m)$ adalah panjang elemen batang maka matriks kekakuan aksial elemen batang dirumuskan sebagai berikut,

$$k_{Ae} = \left(\frac{EA}{L_e} \right) \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Jika $I (m^4)$ adalah momen inersia penampang batang maka matrixs kekakuan lentur/bending elemen dirumuskan sebagai berikut,

$$K_{Be} = \left(\frac{EI}{L_e^3} \right) \begin{bmatrix} 12 & 6L_e & -12 & 6L_e \\ 6L_e & 4L_e^2 & -6L_e & 2L_e^2 \\ -12 & -6L_e & 12 & -6L_e \\ 6L_e & 2L_e^2 & -6L_e & 4L_e^2 \end{bmatrix}$$

Jika u, v adalah perpindahan searah sumbu x , sumbu y dan θ perpindahan sudut maka hubungan antara kekakuan gabungan lentur dan aksial, perpindahan dan aksi luar elemen batang:

$$K_e \cdot U_e = F_e$$

$$\begin{bmatrix} k_{Ae(1,1)} & 0 & 0 & k_{Ae(1,2)} & 0 & 0 \\ 0 & k_{Be(1,1)} & k_{Be(1,2)} & 0 & k_{Be(1,3)} & k_{Be(1,4)} \\ 0 & k_{Be(2,1)} & k_{Be(2,2)} & 0 & k_{Be(2,3)} & k_{Be(2,4)} \\ k_{Ae(2,1)} & 0 & 0 & k_{Ae(2,2)} & 0 & 0 \\ 0 & k_{Be(3,1)} & k_{Be(3,2)} & 0 & k_{Be(3,3)} & k_{Be(3,4)} \\ 0 & k_{Be(4,1)} & k_{Be(4,2)} & 0 & k_{Be(4,3)} & k_{Be(4,4)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \theta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{x1} \\ F_{y1} \\ F_{mz} \\ F_{x2} \\ F_{y2} \\ F_{mz2} \end{bmatrix}$$

Tiap elemen batang terdiri dari 2 nodal dimana masing-masing nodal memiliki 3 derajat kebebasan (degree of freedom, DOF) sehingga total matriks lokal mempunyai 2 nodal x 3 DOF = 6 DOF atau matriks elemen diatas menjadi berordo 6 x 6.

Jika elemen batang mempunyai kemiringan Φ dan bila $c = \cos \Phi$ dan $s = \sin \Phi$ maka matriks kekakuan tersebut harus dikalikan dengan matriks transformasi berikut:

$$T = \begin{bmatrix} c & s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -s & c & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c & s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -s & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

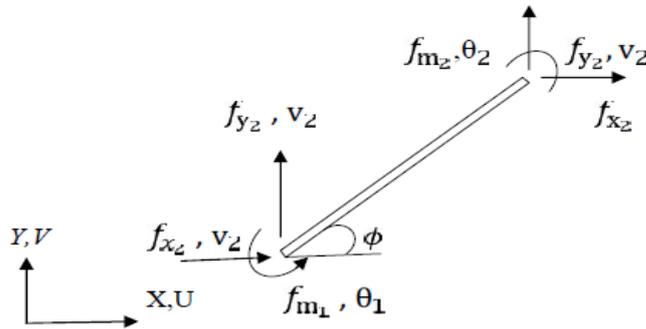
koreksi untuk kekakuan elemen:

$$K_E = T^T \times K_e \times T$$

$$K_E = \begin{bmatrix} c & s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -s & c & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c & s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -s & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^T$$

$$K = \begin{bmatrix} k_{Ae(1,1)} & 0 & 0 & k_{Ae(1,2)} & 0 & 0 \\ 0 & k_{Be(1,1)} & k_{Be(1,2)} & 0 & k_{Be(1,3)} & k_{Be(1,4)} \\ 0 & k_{Be(2,1)} & k_{Be(2,2)} & 0 & k_{Be(2,3)} & k_{Be(2,4)} \\ k_{Ae(2,1)} & 0 & 0 & k_{Ae(2,2)} & 0 & 0 \\ 0 & k_{Be(3,1)} & k_{Be(3,2)} & 0 & k_{Be(3,3)} & k_{Be(3,4)} \\ 0 & k_{Be(4,1)} & k_{Be(4,2)} & 0 & k_{Be(4,3)} & k_{Be(4,4)} \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} c & s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -s & c & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c & s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -s & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



Gambar 9. Elemen portal bidang dengan kemiringan ϕ pada sumbu lokal x-y

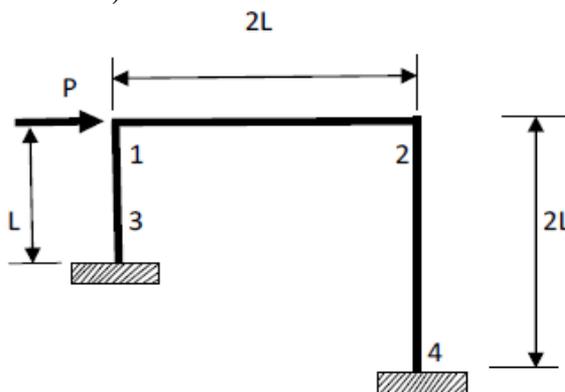
Matriks global K_G untuk rangka secara keseluruhan dibentuk dengan memperhatikan jumlah nodal keseluruhan. Jika keseluruhan terdapat n nodal maka matriks globalnya akan memiliki $(n \text{ nodal} \times 3 \text{ DOF})$. Untuk memudahkan dalam menyusun matriks global maka dibuat matriks dengan jumlah DOFnya sebanyak jumlah nodalnya dimana tiap nodal terdiri dari 3 DOF,

$$K_G = K_{E12} + K_{E13} + K_{E24} + \dots$$

$$K_G = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{00} & K_{00} \\ K_{21} & K_{22} & K_{00} & K_{00} \\ K_{00} & K_{00} & K_{00} & K_{00} \\ K_{00} & K_{00} & K_{00} & K_{00} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{11} & K_{00} & K_{12} & K_{00} \\ K_{00} & K_{00} & K_{00} & K_{00} \\ K_{21} & K_{00} & K_{22} & K_{00} \\ K_{00} & K_{00} & K_{00} & K_{00} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{00} & K_{00} & K_{00} & K_{00} \\ K_{00} & K_{11} & K_{00} & K_{12} \\ K_{00} & K_{00} & K_{00} & K_{00} \\ K_{00} & K_{21} & K_{00} & K_{22} \end{bmatrix} + \dots$$

Dimana : $\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{e(1:3,1:3)} & K_{e(1:3,4:6)} \\ K_{e(4:6,1:3)} & K_{e(4:6,4:6)} \end{bmatrix}$; $K_{00} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$

Pada persamaan diatas K_{E12} , K_{E13} K_{E24} adalah matriks kekakuan elemen batang 12, 13 dan 24 (gambar 10)



Gambar 10. Contoh penomoran nodal pada struktur portal

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Pengambilan Data Massa Pengendara

Sebelum melakukan pengambilan data massa pengendara terlebih dahulu mempersiapkan alat pengambilan data seperti:

- 1) Satu set meja yang disusun sesuai dengan dimensi dari sepeda yang dianalisa (ketinggian batang kemudi, *saddle*, dan pedal)
- 2) Tiga unit timbangan badan
- 3) Mistar busur digunakan untuk mengukur sudut kemiringan lengan, punggung, dan kaki.
- 4) Meteran untuk mengukur tinggi badan pengendara.

Setelah pengambilan data diperoleh data massa pengendara sepeda air tertera pada tabel berikut:

Tabel 1. Pengambilan data massa pengendara

No	Nama	Berat Manusia (Kg)	Tinggi Badan (Cm)	Sudut (°)			Massa (Kg)		
				A	B	C	Stir	Sadel	Pedal
1	Hasanudin	55 KG	163 CM	310°	60°	243°	6 KG	17 KG	10 KG
2	Narwin	45 KG	161,5CM	307°	56°	250°	8,5 KG	22 KG	9 KG
3	Dewa	49 KG	170 CM	310°	59°	245°	10 KG	19 KG	14 KG
4	Adi	64 KG	162 CM	303°	64°	243°	10 KG	30 KG	11 KG
5	Abang	96 KG	174 CM	305°	66°	250°	16 KG	35 KG	21 KG
6	Abi	89 KG	172 CM	308°	60°	246°	14 KG	45 KG	17KG
7	Muslim	54 KG	163 CM	310°	51°	242°	10 KG	18 KG	12 KG
8	Fiandi	76 KG	168 CM	306°	61°	238°	12 KG	40 KG	13 KG

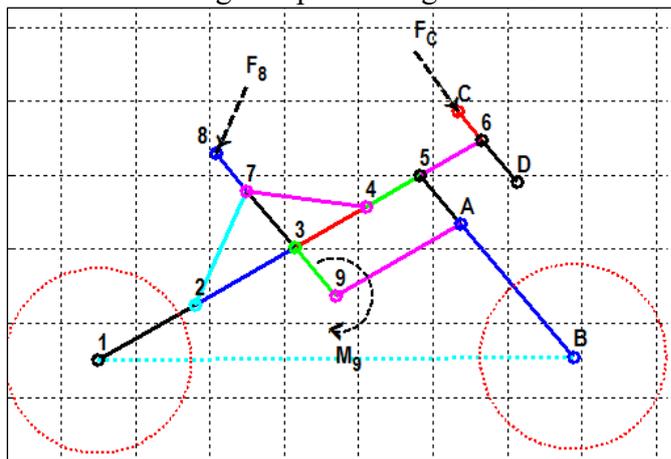
Keterangan:

A.Sudut kemiringan tangan B.Sudut kemiringan punggung C.Sudut kemiringan kaki

b. Perhitungan

1) Diskritisasi

Struktur rangka sepeda dibagi atas 15 elemen hingga dan 13 nodal,



Gambar 11. Diskritisasi Rangka Sepeda

2) Kekakuan elemen

Jika $E (N/m^2)$ adalah modulus elastisitas bahan, $A(m^2)$ adalah luas penampang dan $L_{12}(m)$ adalah panjang elemen batang maka matriks kekakuan aksial elemen batang 12,

$$k_{Ae} = \left(\frac{EA}{L_e} \right) \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \left(\frac{(200, 10^9), (77,7544, 10^{-6})}{0,300} \right) \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 51,836 & -51,836 \\ -51,836 & 51,836 \end{bmatrix}$$

Jika $I(m^4)$ adalah momen inersia penampang batang maka matriks kekakuan lentur/bending elemen,

$$k_{Be} = \left(\frac{EI}{L_e^2} \right) \begin{bmatrix} 12 & 6L_e & -12 & 6L_e \\ 6L_e & 4L_e^2 & -6L_e & 2L_e^2 \\ -12 & -6L_e & 12 & -6L_e \\ 6L_e & 2L_e^2 & -6L_e & 4L_e^2 \end{bmatrix}$$

Matriks kekakuan lentur untuk elemen 12 adalah :

$$k_{B12} = \begin{bmatrix} 4,234 & 0,635 & -4,234 & 0,635 \\ 0,635 & 0,127 & -0,635 & 0,064 \\ -4,234 & -0,635 & 4,234 & -0,635 \\ 0,635 & 0,064 & -0,635 & 0,127 \end{bmatrix} 10^6$$

Gabungan antara kekakuan aksial dan lentur :

$$k_{e12} = \begin{bmatrix} 51,836 & 0,000 & 0,000 & -51,836 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & 4,234 & 0,635 & 0,000 & -4,234 & 0,635 \\ 0,000 & 0,635 & 0,127 & 0,000 & -0,635 & 0,064 \\ -51,836 & 0,000 & 0,000 & 51,836 & 0,000 & 0,000 \\ 0,000 & -4,234 & -0,635 & 0,000 & 4,234 & -0,635 \\ 0,000 & 0,635 & 0,064 & 0,000 & -0,635 & 0,127 \end{bmatrix} 10^6$$

Jika elemen batang mempunyai kemiringan ϕ dan bila $c = \cos \phi$ dan $s = \sin \phi$ maka matriks kekakuan tersebut harus dikalikan dengan matriks transformasi berikut :

$$T = \begin{bmatrix} c & s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -s & c & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c & s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -s & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Matriks elemen 12 yang telah ditransformasikan, $K_{e12} = T \times k_{e12}$:

$$K_{e12} = \begin{bmatrix} 39,936 & 20,612 & -0,318 & -39,936 & -20,612 & -0,318 \\ 20,612 & 16,135 & 0,550 & -20,612 & -16,135 & 0,550 \\ -0,318 & 0,550 & 0,127 & 0,318 & -0,550 & 0,064 \\ -39,936 & -20,612 & 0,318 & 39,936 & 20,612 & 0,318 \\ -20,612 & -16,135 & -0,550 & 20,612 & 16,135 & -0,550 \\ -0,318 & 0,550 & 0,064 & 0,318 & -0,550 & 0,127 \end{bmatrix} 10^6$$

3) Matriks Global :

Matriks kekakuan global,

$$k_G = k_{e12} + k_{e23} + k_{e34} + k_{e45} + k_{e56} + k_{e27} + k_{e37} + k_{e47} + k_{e39} + k_{e78} + k_{e5A} + k_{e9A} + k_{eAB} + k_{e6C} + k_{e6D}$$

Berikut ini adalah matriks kekakuan global k_G yang secara keseluruhan matriks berukuran (39 x 39), di bawah ini diberikan matriks pada baris dan kolom 1 – 10, matriks secara lengkapnya terdapat pada lampiran :

$$= \begin{bmatrix} 39,94 & 20,61 & -0,32 & -39,94 & -20,61 & -0,32 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 20,61 & 16,13 & 0,55 & -20,61 & -16,13 & 0,55 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -0,32 & 0,55 & 0,13 & 0,32 & -0,55 & 0,06 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -39,94 & -20,61 & 0,32 & 88,81 & 56,86 & -0,43 & -38,58 & -20,06 & -0,30 & 0,00 \\ -20,61 & -16,13 & -0,55 & 56,86 & 70,15 & 0,17 & -20,06 & -15,42 & 0,52 & 0,00 \\ -0,32 & 0,55 & 0,06 & -0,43 & 0,17 & 0,36 & 0,30 & -0,52 & 0,06 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & -38,58 & -20,06 & 0,30 & 186,24 & -18,82 & 0,13 & -55,70 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & -20,06 & -15,42 & -0,52 & -18,82 & 155,97 & 0,86 & -25,96 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & -0,30 & 0,52 & 0,06 & 0,13 & 0,86 & 0,71 & 0,59 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & -55,70 & -25,96 & 0,59 & 177,61 \end{bmatrix}$$

Berikut ini adalah matriks aksi global F_G yang secara keseluruhan matriks berukuran (39 x 1), di bawah ini diberikan matriks pada baris 22 – 39 dimana pada baris lainnya adalah nol :

$$= \begin{bmatrix} -139,653 \\ -313,666 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 15,451 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 90,029 \\ -128,574 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 0,000 \end{bmatrix} \begin{matrix} 22. F_x8 \\ 23. F_y8 \\ 24. M_z8 \\ 25. F_x9 \\ 26. F_y9 \\ 27. M_z9 \\ 28. F_xA \\ 29. F_yA \\ 30. M_zA \\ 31. F_xB \\ 32. F_yB \\ 33. M_zB \\ 34. F_xC \\ 35. F_yC \\ 36. M_zC \\ 37. F_xD \\ 38. F_yD \\ 39. M_zD \end{matrix}$$

4) Matriks perpindahan

Berikut ini adalah matriks kekakuan global yang telah direduksi (dimodifikasi) baris dan kolomnya dengan memperhatikan kondisi di tiap nodal yaitu dimana perpindahannya nol yaitu pada baris 1,2,3,31,32 dan 33. Secara keseluruhan matriks berukuran (33 x 33), di bawah ini diberikan matriks pada baris dan kolom 1–10, matriks secara lengkapnya terdapat pada lampiran:

$$K_{GR} = \begin{bmatrix} 88,81 & 56,86 & -0,43 & -38,58 & -20,06 & -0,30 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 56,86 & 70,15 & 0,17 & -20,06 & -15,42 & 0,52 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -0,43 & 0,17 & 0,36 & 0,30 & -0,52 & 0,06 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -38,58 & -20,06 & 0,30 & 186,24 & -18,82 & 0,13 & -55,70 & -25,96 & -0,59 & 0,00 \\ -20,06 & -15,42 & -0,52 & -18,82 & 155,97 & 0,86 & -25,96 & -25,72 & 1,02 & 0,00 \\ -0,30 & 0,52 & 0,06 & 0,13 & 0,86 & 0,71 & 0,59 & -1,02 & 0,09 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & -55,70 & -25,96 & 0,59 & 177,61 & 49,53 & -0,47 & -74,42 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & -25,96 & -25,72 & -1,02 & 49,53 & 70,28 & 0,14 & -29,53 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & -0,59 & 1,02 & 0,09 & -0,47 & 0,14 & 0,52 & 0,99 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & -74,42 & -29,53 & 0,99 & 191,43 \end{bmatrix}$$

Berikut ini adalah matriks aksi global F_{GR} yang telah direduksi berukuran (33 x 1), di bawah ini ditampilkan matriks pada baris 19–33 dimana pada baris lainnya adalah nol :

$$F_{GR} = \begin{bmatrix} -139,653 \\ -313,666 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 15,451 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 90,029 \\ -128,574 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 0,000 \end{bmatrix} \begin{matrix} 19. F_x 8 \\ 20. F_y 8 \\ 21. M_z 8 \\ 22. F_x 9 \\ 23. F_y 9 \\ 24. M_z 9 \\ 25. F_x A \\ 26. F_y A \\ 27. M_z A \\ 28. F_x C \\ 29. F_y C \\ 30. M_z C \\ 31. F_x D \\ 32. F_y D \\ 33. M_z D \end{matrix}$$

Matriks perpindahan pada nodal yang tak terkekang (perpindahannya tidak nol),

$$U_{GR} = K_{GR}^{-1} \times F_{GR}$$

$$U_{GR} = \begin{bmatrix} 0,0237 \\ -0,0529 \\ -0,0826 \\ 0,0142 \\ -0,0340 \\ 0,0905 \\ 0,0016 \\ -0,0096 \\ 0,0905 \\ 0,0016 \\ -0,0074 \\ -0,0716 \\ 0,0262 \\ -0,0493 \\ -0,3406 \\ -0,0053 \\ -0,0508 \\ 0,2475 \\ -0,0473 \\ -0,0877 \\ 0,5212 \\ 0,0220 \\ -0,0271 \\ 0,1068 \\ 0,0040 \\ -0,0034 \\ 0,0548 \\ 0,0526 \\ -0,0285 \\ -0,3334 \\ -0,0129 \\ -0,0822 \\ -0,3406 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1. u2 \\ 2. v2 \\ 3. S2 \\ 4. u3 \\ 5. v3 \\ 6. S3 \\ 7. u4 \\ 8. v4 \\ 9. S3 \\ 10. u4 \\ 11. v5 \\ 12. S5 \\ 13. u6 \\ 14. v6 \\ 15. S6 \\ 16. u7 \\ 17. v7 \times 10^{-3} \\ 18. S7 \\ 19. u8 \\ 20. v8 \\ 21. S8 \\ 22. u9 \\ 23. v9 \\ 24. S9 \\ 25. uA \\ 26. vA \\ 27. SA \\ 28. uC \\ 29. vC \\ 30. SC \\ 31. uD \\ 32. vD \\ 33. SD \end{matrix}$$

dimana u dan v adalah perpindahan searah sumbu x dan y dalam satuan m, sedangkan S adalah perpindahan sudut terhadap sumbu z dalam satuan radian. Dengan memasukkan baris-baris yang perpindahannya nol ke matriks di atas maka diperoleh matriks keseluruhan di tiap nodal (matriks global) yaitu

$$U_G = \begin{bmatrix} 0,0000 \\ 0,0000 \\ 0,0000 \\ 0,0237 \\ -0,0529 \\ -0,0826 \\ 0,0142 \\ -0,0340 \\ 0,0905 \\ 0,0016 \\ -0,0096 \\ 0,0864 \\ 0,0018 \\ -0,0074 \\ -0,0716 \\ 0,0262 \\ -0,0493 \\ -0,3406 \\ -0,0053 \\ -0,0508 \\ 0,2475 \\ -0,0473 \\ -0,0877 \\ 0,5212 \\ 0,0220 \\ -0,0271 \\ 0,1068 \\ 0,0040 \\ -0,0034 \\ 0,0548 \\ 0,0000 \\ 0,0000 \\ 0,0000 \\ 0,0526 \\ -0,0285 \\ -0,3334 \\ -0,0129 \\ -0,0822 \\ -0,3406 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1. u1 \\ 2. v1 \\ 3. S1 \\ 4. u2 \\ 5. v2 \\ 6. S2 \\ 7. u3 \\ 8. v3 \\ 9. S3 \\ 10. u4 \\ 11. v4 \\ 12. S4 \\ 13. u5 \\ 14. v5 \\ 15. S5 \\ 16. u6 \\ 17. v6 \\ 18. S6 \\ 19. u7 \\ 20. v7 \times 10^{-3} \\ 21. S7 \\ 22. u8 \\ 23. v8 \\ 24. S8 \\ 25. u9 \\ 26. v9 \\ 27. S9 \\ 28. uA \\ 29. vA \\ 30. SA \\ 31. uB \\ 32. vB \\ 33. SB \\ 34. uC \\ 35. vC \\ 36. SC \\ 37. uD \\ 38. vD \\ 39. SD \end{matrix}$$

5) Matriks Reaksi Tumpuan

Untuk menghitung reaksi di tumpuan matriks kekakuan global dimodifikasi dengan mengambil baris-baris dimana perpindahannya nol sehingga diperoleh matriks kekakuan K_{GR2} berikut ini ditampilkan matriks tersebut untuk kolom 1-10 yaitu

$$\begin{bmatrix} 39,94 & 20,61 & -0,32 & -39,94 & -20,61 & -0,32 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 20,61 & 16,13 & 0,55 & -20,61 & -16,13 & 0,55 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ -0,32 & 0,55 & 0,13 & 0,32 & -0,55 & 0,06 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 & 0,00 \end{bmatrix}$$

Matriks reaksi tumpuan di nodal yang perpindahannya nol, $R_{GR} = K_{GR2} \times U_G$

$$R_{GR} = \begin{bmatrix} 171,581 \\ 320,521 \\ 31,393 \\ -121,956 \\ 121,719 \\ 2,458 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1, Rx1 \\ 2, Ry1 \\ 3, Mz1 \\ 4, RxB \\ 5, RyB \\ 6, MzB \end{matrix}$$

6Matriks Aksi Internal :

Berikut ini adalah matriks aksi internal elemen 12

$$f_{e12} = K_{e12} \times U_{e12}$$

$$= \begin{bmatrix} 39,936 & 20,612 & -0,318 & -39,936 & -20,612 & -0,318 \\ 20,612 & 16,135 & 0,550 & -20,612 & -16,135 & 0,550 \\ -0,318 & 0,550 & 0,127 & 0,318 & -0,550 & 0,064 \\ -39,936 & -20,612 & 0,318 & 39,936 & 20,612 & 0,318 \\ -20,612 & -16,135 & -0,550 & 20,612 & 16,135 & -0,550 \\ -0,318 & 0,550 & 0,064 & 0,318 & -0,550 & 0,127 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,000 \\ 0,000 \\ 0,000 \\ 0,024 \\ -0,053 \\ -0,083 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 171,581 \\ 320,521 \\ 31,393 \\ -171,581 \\ -320,521 \\ 26,144 \end{bmatrix} \begin{matrix} 1. f_N1 \\ 2. f_T1 \\ 3. m_z1 \\ 4. f_N2 \\ 5. f_T2 \\ 6. m_z2 \end{matrix}$$

Matriks ini terdiri dari beban normal (f_N), tangensial (f_T) dan momen lentur (m_z) di nodal 1 dan 2, selengkapnya aksi internal untuk elemen lainnya terdapat di tabel pada lampiran.

c. Pembahasan

1) Perpindahan

Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung aksi-aksi internal di tiap elemen batang sepeda. Untuk menghitung aksi internal yang terdapat di elemen 12 diperoleh dari rumus berikut

$$f_{e12} = K_{e12} \times U_{e12}$$

dimana K_{e12} adalah kekakuan elemen 12 dan U_{e12} adalah perpindahan di nodal 1 dan 2. Sedangkan untuk menghitung perpindahan di titik nodal yang tak terkekang diperoleh dari rumus berikut

$$U_{GR} = K_{GR}^{-1} \times F_{GR}$$

2) Kekakuan dan Aksi Luar

Sehingga sebagai langkah awal perlu disusun lebih dulu matriks kekakuan K dan matriks aksi luar F. Selanjutnya matriks tersebut perlu dimodifikasi dengan memperhatikan perpindahan di nodal yang terkekang (perpindahannya nol) yaitu perpindahan di baris 1,2,3,31,32 dan 33 dari matriks perpindahan. Perpindahan tersebut terdiri dari perpindahan yang searah sumbu x dan y serta perpindahan sudut terhadap sumbu z. Untuk kondisi tumpuan jepit maka ketiga jenis perpindahan tersebut adalah nol.

Karena di tiap nodal bekerja beban aksial dan lentur maka matriks kekakuan terdiri dari matriks kekakuan akibat beban aksial dan matriks kekakuan akibat beban lentur.

3) Bahan dan Ukuran

Bahan dan ukuran elemen batang hanya akan mempengaruhi perhitungan perpindahan dan kekuatan dan tidak berpengaruh pada besarnya aksi internal karena pada perhitungan aksi internal harga E dan A akan dibagi habis. Dengan demikian harga E dan A cukup diasumsikan saja untuk digunakan pada perhitungan sementara (bukan harga yang sebenarnya) perpindahan yang terjadi, selanjutnya perpindahan akan digunakan pada perhitungan aksi internal.

4) Periksa Hasil Perhitungan

Untuk memeriksa apakah hasil perhitungan sudah benar harus dipenuhi kesetimbangan luar dan dalam. Kesetimbangan gaya-gaya luar yaitu antara aksi luar (gaya terpakai) dan reaksi tumpuan

$$\begin{aligned}\Sigma_{Fx} &= F_{x8} + F_{xC} + R_{x1} + R_{xB} \\ &= (-139,653) + 90,029 + 171,581 + (-121,956) = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma_{Fy} &= F_{y8} + F_{yC} + R_{y1} + R_{yB} \\ &= (-313,666) + -128,574 + 320,521 + 121,719 = 0\end{aligned}$$

Kesetimbangan gaya-gaya luar dan gaya-gaya dalam (internal)

$$\begin{aligned}\Sigma_{fx1} &= R_{x1} - f_{N1} \\ &= 171,581 - 171,581 = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma_{fy1} &= R_{y1} - f_{T1} \\ &= 320,521 - 320,521 = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma_{fxB} &= R_{xB} + f_{NB} \\ &= (-121,956) + 121,956 = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma_{fyB} &= R_{yB} + f_{TB} \\ &= 121,719 + (-121,719) = 0\end{aligned}$$

Karena total gaya-gaya luar dan dalam adalah nol maka terpenuhi hukum kesetimbangan sehingga hasil perhitungan sudah benar.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Struktur rangka sepeda diskritisasi menjadi 15 elemen batang dan 13 titik nodal dengan masing-masing titik nodal memiliki perpindahan dengan 3 derajat kebebasan yaitu perpindahan searah sumbu x dan y serta perpindahan sudut terhadap sumbu z.
- Reaksi di tumpuan 1 searah sumbu x dan y adalah 171,581 N dan 320,521 N dan momen searah sumbu z adalah 31,393 Nm. Reaksi di tumpuan B searah sumbu x dan y adalah -121,956 N dan 121,719 N dan momen searah sumbu z adalah 2,458 Nm.
- Aksi internal di tiap elemen batang terdiri gaya normal searah sumbu batang, gaya tangensial tegak lurus terhadap sumbu batang dan momen lentur yang berputar terhadap sumbu z. Beban-beban maksimum terdiri dari gaya normal maksimal terdapat di batang 27 sebesar 458,3527 N. Gaya tangensial maksimal terdapat di batang 78 sebesar 308,6009 N. Momen lentur maksimal terdapat di batang 78 sebesar 40,1181 Nm. Beban-beban kritis ini selanjutnya dapat digunakan untuk dasar perhitungan kekuatan rangka batang.

Saran

- Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menghitung kekuatan dan perpindahan yang sebenarnya di tiap elemen batang.
- Untuk itu perlu diketahui bahan logam yang digunakan pada rangka sepeda serta ukuran penampang yang sebenarnya.

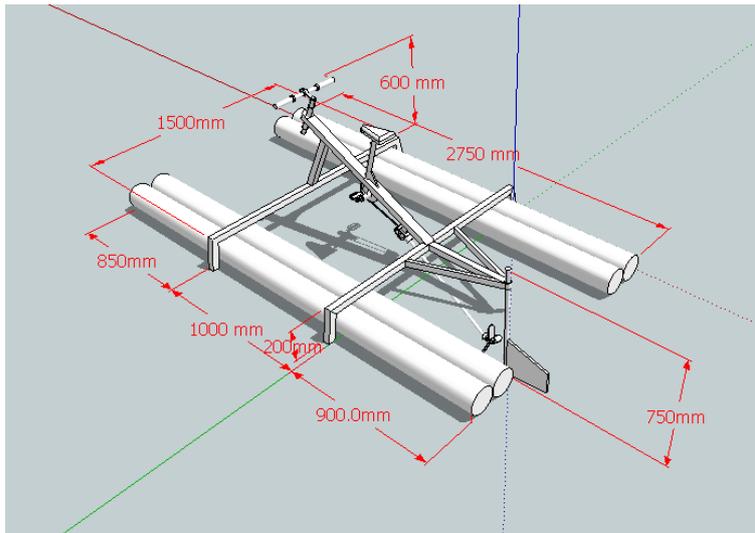
REFERENSI

- Tedja, Andra Berlianto dan W., Bambang Daryanto. (2012). *Analisa Tegangan dan Deformed Shape Pada Rangka Sepeda Fixie*. Jurnal Teknik Pomits. 1-5
- Nurmianto, Eko (2008). *Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasinya*. Institute Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
- Popov, E.P., *Mechanics of Materials, 2nd edition – SI version*, Prentice-Hall International Inc.: Singapore, 1978.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Kepulauan Riau. 2014. *Perkembangan Kunjungan Wisman Ke Provinsi Kepulauan Riau Agustus 2014*. BPS Kepro, No.69/10/21/Th.IX, 1 Oktober 2014

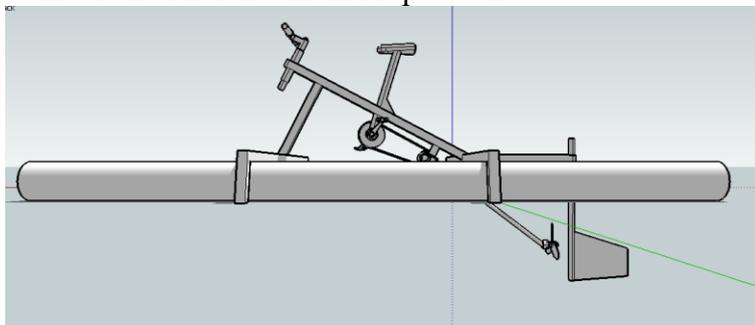
Mahandari, C. Prapti., Satyadarma, Dita, dan Firmansyah. (2007). *Kajian Awal Kekuatan Rangka Sepeda Motor Hibrid*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma

Erlinda Muslim., "Ergonomic Evaluation of A Folding Bike Using Virtual Environment Modelling"

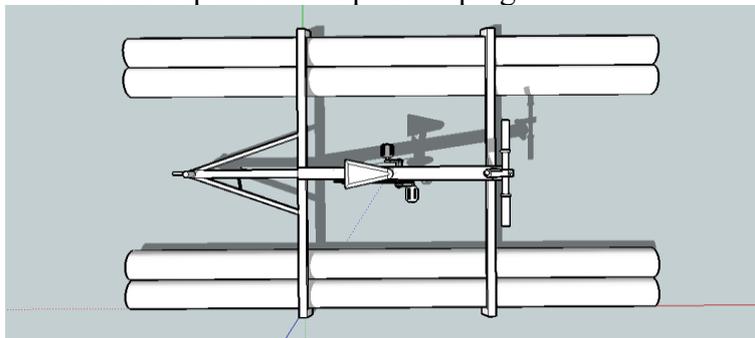
UBAYA. 2014. "Mahasiswa Ubaya Bikin Sepeda Air Tandem, Sepeda Air Tandem Manufam (Manuvers Family)". http://www.ubaya.ac.id/ubaya/news_detail/954/Mahasiswa-Ubaya-Bikin-Sepeda-Air-Tandem.html



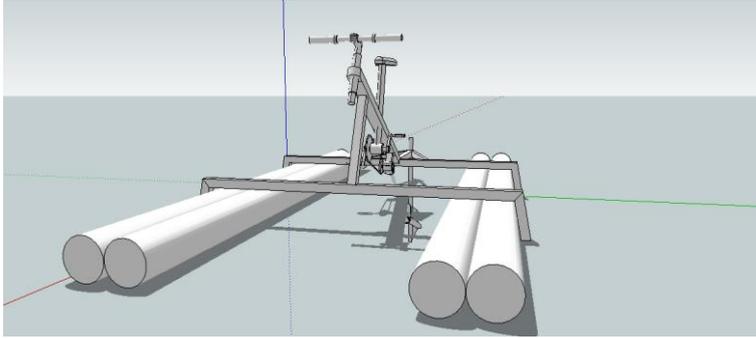
Gambar 12. Ukuran dimensi sepeda air



Gambar 13. Sepeda air tampak samping



Gambar 14. Sepeda air tampak atas



Gambar 15. Sepeda air tampak depan



Gambar 16. Pembuatan Rangka dan proses pengelasan



Gambar 17. Pembuatan Pelampung



Gambar 18. Pembuatan Penyangga



Gambar 19. Pengeboran



Gambar 20. Poros As Propeller



Gambar 21. Sirip belakang (fin)



Gambar 22. Pemasangan transmisi pada sepeda air



Gambar 23. Pengecetan